2Ш

УДК 681.5:664.6

С.С. Шаруда, В.Д. Кишенько
Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна
sveta.sharuda@gmail.com

Лінгвістична апроксимація технологічних показників хлібопекарського виробництва

У даній статті показано, що хлібопекарське виробництво є дійсно складним об’єктом керування. У такому випадку одним з ефективних способів керування є застосування сценарного підходу. Обґрунтовано необхідність використання теорії нечітких множин для побудови систем керування технологічними процесами виробництва хліба. Наведено функції належності для основних технологічних показників даних процесів.

Особливостями технологічних процесів хлібопекарського виробництва є велика кількість та складність зв’язків між параметрами стану об’єктів, трудомісткість процедур побудови математичного опису і використання його результатів для практичних реалізацій, значний рівень похибок вимірювання технологічних змінних (а іноді й неможливість їх проведення), і як результат – необхідність приймати рішення для керування технологічними агрегатами і виробництвами в умовах неповної інформації про стан об’єкта. Для ефективного керування таким виробництвом доцільно будувати автоматизовані експертні системи, які призначені для підтримки процесу прийняття рішень неформалізованих задач.

Технологічні процеси приготування тіста, вистоювання та випічки є дуже складними з точки зору оптимізації показників якості, витрат та продуктивності і представляють сукупність окремих, головним чином послідовних, операцій. Ефект кожної операції визначається не лише даною операцією, але й результатом впливу на продукт попередньої та наступної операцій. Сценарний підхід є одним з найпоширеніших методів досліджень, який дозволяє адекватно формулювати думки фахівців щодо прогнозування перебігу подій у складних системах. Кожен сценарій зв’язує зміну зовнішніх умов із результуючими змінними [1].

Побудова сценаріїв керування на основі нечітких моделей

Реалізацію сценарію керування технологічними процесами хлібопекарського підприємства доцільно здійснювати на основі нечіткої моделі представлення знань, попередньо формалізувавши змінні, якими характеризується даний процес. Такий спосіб є достатньо гнучким та зручним для представлення логічних відношень між елементами сценаріїв. Використання нечітких моделей дозволяє не тільки вказати належність певного елемента даній множині, а й ступінь цієї належності [2].

Безумовними перевагами нечітких моделей порівняно з іншими методами (методи, засновані на теорії планування експерименту, баєсовський підхід, метод фазового інтервалу, логічне програмування) є можливість проведення швидкого моделювання складних динамічних систем та їх порівняльний аналіз, доцільність використання нечітких вхідних даних (наприклад, результатів лабораторних досліджень чи органолептичних оцінок) та представлення знань, що містяться в даних, в зрозумілому для оператора вигляді.

Системи з нечіткою логікою функціонують за однаковим принципом: результати вимірювань фазифікуються (переводяться в нечіткий формат), обробляються, дефазифікуються і у вигляді уніфікованих сигналів подаються на виконавчі механізми.

Лінгвістична апроксимація змінних

Основна ідея лінгвістичної апроксимації полягає в формалізації причинно-наслідкових зв'язків між змінними «входи (фактори) – вихід» за допомогою опису цих зв'язків природною мовою із застосуванням теорії нечітких множин та лінгвістичних змінних.

Формально лінгвістична змінна описується такими параметрами: X – ім'я змінної; T – терм-множина, кожен елемент якої задається нечіткою множиною на універсальній множині U; G – синтаксичні правила, що утворюють назви термів; M – семантичні правила, що задають функції належності нечітких термів [2].

Для лінгвістичної апроксимації змінних хлібопекарського виробництва використовувався аналітичний підхід на основі інформації, отриманої в результаті експертного опитування.

Весь процес приготування хліба умовно можна поділити на такі стадії: дозування сировини, приготування опари, приготування тіста, вистоювання, випікання. Кожна стадія хлібопекарського виробництва характеризується своїми технологічними показниками. На думку експертів, показниками, які найбільше впливають на якість кінцевого продукту, є: сила борошна, газоутворююча здатність борошна, автолітична активність борошна; тривалість дозрівання та інтенсивність бродіння опари; тривалість бродіння тіста, газоутримуюча здатність та інтенсивність механічної обробки тіста; тривалість вистоювання та тривалість випікання тістової заготовки.

У даній статті наведено такі лінгвістичні змінні: сила борошна, інтенсивність бродіння опари, тривалість бродіння тіста, температура тіста.

Сила борошна є одним із вирішальних факторів у формуванні якості подового хліба: чим вища сила борошна, тим краща формостійкість хліба. Для змінної «сила борошна» (визначається за консистенцією тіста на автоматизованому пенетрометрі АП-4/1 за показником K_{60} [3]) універсальною множиною є $U = [80,270]$, терм-множиною – T = {«дуже сильне», «сильне», «середнє за силою», «слабке», «дуже слабке»}.

Для побудови функцій належності було використано метод, що базується на статистичній обробці думок групи експертів [4], які умовно поділялись на категорії: науковці, технологи хлібопекарського виробництва, працівники лабораторії.

Кожен експерт заповнив анкету, в якій вказав свою думку про наявність у елементів $u_i (i = \overline{1,n})$ властивостей нечіткої множини $\bar{l}_j (j = \overline{1,m})$. Нехай K – кількість експертів, $b_{i,j}^k$ – думка k-го експерта про наявність у елемента u_i властивостей нечіткої множини $\bar{l}_j$, $k = \overline{1,K}$, $i = \overline{1,n}$, $j = \overline{1,m}$. Вважалось, що експертні оцінки бінарні, тобто $b_{i,j}^k \in \{0;1\}$, де 1 – наявність властивостей нечіткої множини $\bar{l}_j$ у елемента u_i, а 0 – відсутність властивостей (ознак). За результатами анкетування ступінь належності множині було розраховано за формулою:

$$\mu_{l_j}(u_i) = \frac{1}{K} \sum_{k=1,K} b_{j,i}^k, \ i = \overline{1,n}. \tag{1}$$

Функції належності зручно задавати в параметричній формі. Найбільшу популярність отримали трикутна, трапецевидна, гаусова, сигмоїдальна та Пі-подібна функції належності [1].

Для лінгвістичної апроксимації діапазон зміни сили борошна розбивається на піддіапазони $K_{60} =<$ *менше*_100; 101–150; 151–200; 201–250; 250_*і*_*більше* $>$.

Так як Пі-подібна функція дозволяє здійснити плавний перехід від песимістичної до оптимістичної оцінки нечіткого числа, тому для побудови функції належності змінної «сила борошна» було використано саме її. На рис. 1 показано побудову даних функцій, а в табл. 1 наведені визначення терм-множин змінної.

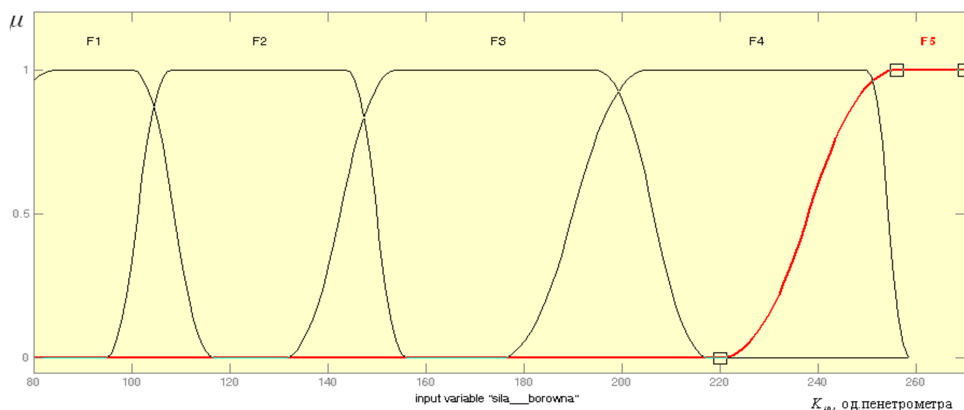


Рисунок 1 – Функції належності лінгвістичної змінної «сила борошна»

Таблиця 1 – Характеристика термів сили борошна

Позначення факторів	Групи якості борошна, K_{60}, од. пенетрометра	Координати функції належності
F1	Дуже сильне (100 і менше)	[52.6 84.3 100.4 117]
F2	Сильне (101 – 105)	[94.6 107.9 144 156]
F3	Середнє за силою (151 – 200)	[131 154 194.9 218]
F4	Слабке (201 – 250)	[175 205 250 258.7]
F5	Дуже слабке (250 і більше)	[220 256 270 297]

Якість кінцевого продукту залежить не лише від якості сировини, а й від дотримання технологічного регламенту. При виготовленні хліба на густій опарі одним з важливих показників є інтенсивність бродіння опари.

Апроксимація функцій належності інтенсивності бродіння опари наведена на рис. 2, а терм-множина наведена в табл. 2.

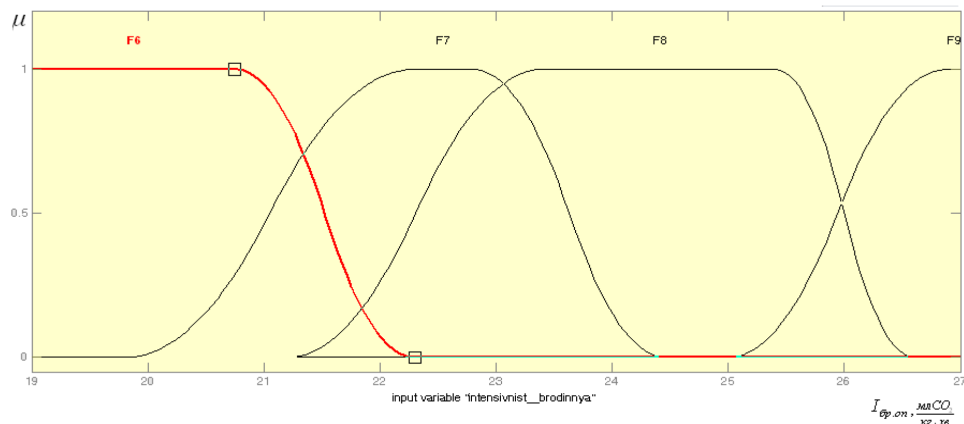


Рисунок 2 – Функції належності лінгвістичної змінної «інтенсивність бродіння опари»

Таблиця 2 – Характеристика термів інтенсивності бродіння опари

Позначення факторів	Інтенсивність бродіння опари, $I_{бр.оп}, \frac{млCO_2}{кг \cdot хв}$	Координати функції належності
F6	Дуже низька (менше 20)	[16.1 18.7 20.75 22.3]
F7	Низька (21 – 23)	[19.8 22.3 22.8 24.5]
F8	Нормальна (22 – 26)	[21.2 23.41 25.4 26.6]
F9	Висока (25 – 27)	[25 26.88 27.3 29.9]

На рис. 3 наведено функції належності для лінгвістичної змінної «тривалість бродіння тіста», а в табл. 3 – терм-множина.

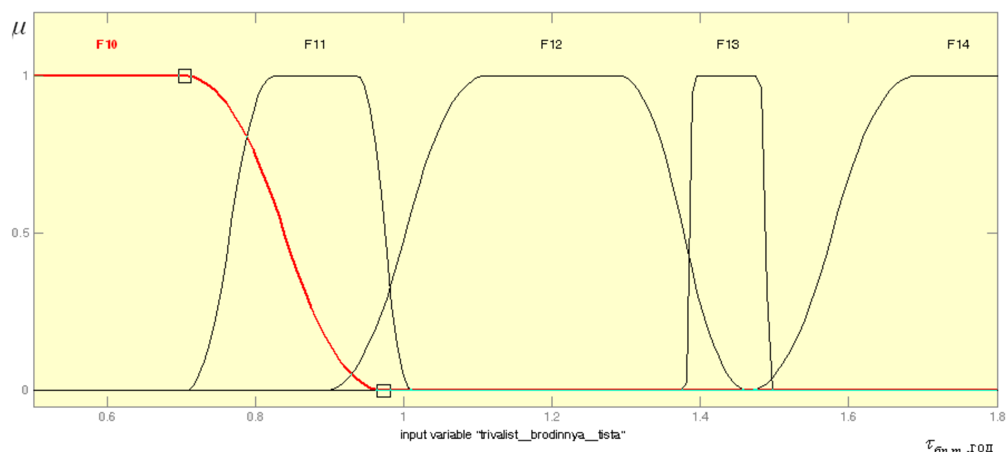


Рисунок 3 – Функції належності лінгвістичної змінної «тривалість бродіння тіста»

Таблиця 3 – Характеристика термів тривалості бродіння тіста

Позначення факторів	Тривалість бродіння тіста, $\tau_{бр.т.}$, год	Координати функції належності
F10	Незначна (0,5 – 0,98)	[0.0385 0.373 0.704 0.9729]
F11	Близька до нормальної (0,7 – 1)	[0.705 0.825 0.938 1.011]
F12	Нормальна (0,89 – 1,46)	[0.894 1.11 1.29 1.465]
F13	Висока (1,38 – 1,5)	[1.38 1.39 1.48 1.496]
F14	Занадто висока (більше 1,5)	[1.465 1.69 1.82 1.88]

Апроксимація функцій належності лінгвістичної змінної «температура тіста» наведена на рис. 4, а терм-множина наведена в табл. 4.

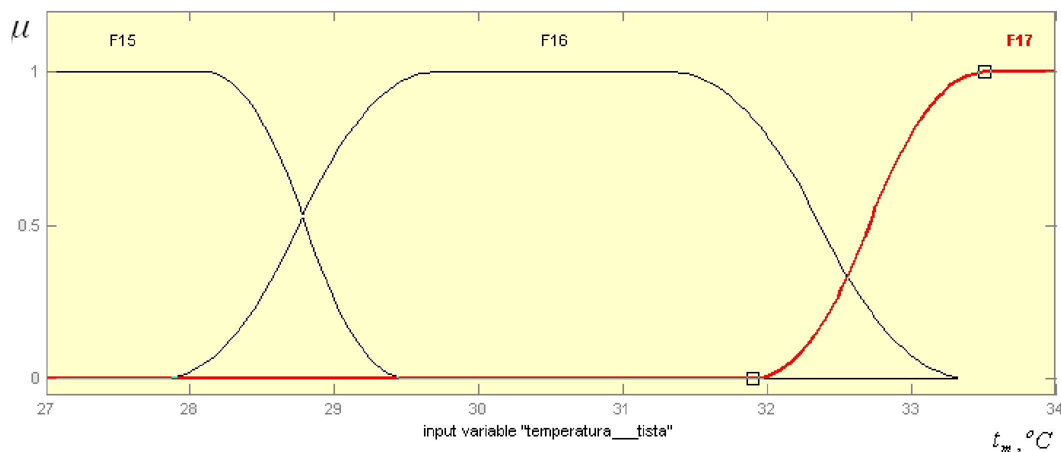


Рисунок 4 – Функції належності лінгвістичної змінної «температура тіста»

Таблиця 4 – Характеристика термів температури тіста

Позначення факторів	Температура тіста, $t_m, {}^oC$	Координати функції належності
F15	Низька (27 – 29)	[26.2 26.8 28.1 29.5]
F16	Нормальна (28,5 – 33,4)	[27.8 29.7 31.33 33.4]
F17	Висока (32,7 – 34)	[31.9 33.51 34.9 35.8]

Основною метою функціонування хлібопекарського підприємства є виготовлення продукції якнайвищої якості, при цьому показники якості хліба визначаються в більшості випадків органолептично та описуються у вербальній формі. Тому доцільно провести лінгвістичну апроксимацію і показників якості готового продукту. Висновок про якість хліба можна зробити за такими показниками: форма виробу (правильна, неправильна); стан поверхні (гладка, нерівна, з тріщинами, з підривами); пористіть (рівномірна, нерівномірна, мілка, середня, крупна, тонкостінна, товстостінна); колір скоринки (блідий, золотисто-рожевий, світло-коричневий, темно-коричневий, коричневий); пропеченість (рівномірна, нерівномірна); еластичність (добра, середня, погана); вологість; кислотність.

Висновок

Характерною особливістю хлібопекарського виробництва є велика ступінь невизначеності; це стосується насамперед якісних показників, так як багато з них вимірюються органолептичними методами. Саме тому для створення ефективних систем керування потрібно враховувати цю інформацію та використовувати інтелектуальні засоби керування.

Простота та потужність нечіткої логіки, як методології вирішення проблемних ситуацій, гарантує її успішне застосування у вбудованих системах контролю та аналізу інформації, при цьому відбувається залучення інтуїції та досвіду оператора. Ефективним механізмом керування в системах з великим ступенем невизначеності є застосування сценарного підходу [5], [6].

В подальшому отримані результати планується використати для побудови сценаріїв керування технологічними процесами хлібопекарського виробництва.

Література

1. Кононов Д.А. Эффективные стратегии формирования сценариев поведения сложных систем в АСУ ЧС // Автоматика и телемеханика. – 2001. – № 2. – С. 170-181.
2. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с., ил.
3. Дробот В.І., Арсеньєва Л.Ю. та ін. Лабораторний практикум з технології хлібопекарського та макаронного виробництв: Навчальний посібник. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 341 с.
4. Тоценко В.Г. Методи та системи підтримки прийняття рішень. – Київ: Наукова думка, 2002. – 381 с.
5. Юдицкий С.А. Сценарный подход к моделированию поведения бизнес-систем. – М.: Синтег, 2001. – 108 с.
6. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем / В.В. Кульба, Д.А. Кононов, С.А. Косяченко, А.Н. Шубин. – М.: Синтег. – 2004. – 296 с.

С.С. Шаруда, В.Д. Кишенько
Лингвистическая аппроксимация технологических показателей хлебопекарного производства
В данной статье показано, что хлебопекарное производство действительно является сложным объектом управления. В таком случае одним из эффективных способов управления является применение сценарного подхода. Обоснована необходимость использования теории нечетких множеств для построения систем управления технологическими процессами производства хлеба. Приведены функции принадлежности для основных технологических показателей данных процессов.

S.S. Sharuda, V.D. Kishenko
Linguistic Approximation of Bread Making Parameters
The article shows that bread making is a complex managing object. One of the most effective way for bread making managing is a scenario approach. The article explains the need of fuzzy sets theory for bread making manufacture design. Membership functions for the major characteristics of the bread making processes are given.

Стаття надійшла до редакції 22.07.2008.